

ÇİFT TESİRLİ YAPIŞTIRICI TABAKA İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT PARÇALARIN GERİLME ANALİZİ

İsmail Yasin SÜLÜ¹

¹İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya

ABSTRACT

In this paper, stress analysis of composite parts jointed with double-lap joint subjected to tensile load was analyzed by using 3-D finite element method (FEM). In the analysis, the composite parts are carbon/epoxy (T 700) with different fiber orientation angles and the adhesive is DP 410. The models for the numerical analyses were generated by using the ANSYS software package. The finite element analyses (FEA) were carried out to predict the failure loads. Stress at x, y, z directions, shear stresses and the von-Mises stresses on adhesive were obtained at the time of the failure for predetermined parameters. Consequently, the effects of orientation angles, overlap widths and length, and adhesive layer were examined. The most effect parameters were determined for composite parts adhesively joint.

ÖZET

Bu çalışmada, çift tesirli birleştirme ile birleştirilmiş kompozit parçaların gerilme analizi üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Analizlerde, farklı oryantasyon açılarına sahip karbon/epoksi (T 700) kompozit parçalar ve yapıştırıcı olarak da DP 410 yapıştırıcı kullanılmıştır. Nümerik analizler için modeller ANSYS paket programı kullanılarak üretilmiştir. Sonlu elemanlar analizleri hasar yüklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Belirlenen hasar yüklerinde yapıştırıcı üzerindeki x, y, ve z yönlerinde oluşan gerilmeler, kayma gerilmeleri ve von-Mises gerilmeleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, oryantasyon açılarının, bindirme boyutlarının ve yapıştırıcı tabakanın etkileri araştırılmıştır. Yapıştırılarak birleştirilen kompozit parçalar için en etkili parametreler belirlenmiştir.

1. Giriş

Klasik yöntemler olan cıvata, pim, kaynak teknikleri sahip oldukları birçok dezavantajlardan dolayı yapıştırıcı kullanarak birleştirme yöntemleri önem kazanmaktadır. Günümüzde klasik tek tesirli birleştirme yöntemi havacılık, makine tasarımı, otomotiv ve birçok sanayi alanında hasar uğramış parçaların tamiri ve birleştirme işlemleri için tercih edilmektedir. Bu yüzden, bu bağlantı tekniği metal ve kompozit parçalar için geniş bir kullanım alanına sahiptir ve gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte, kompozit parçaların birleştirilme işleminde güçlü bağlantı durumları önemlidir.

Kompozit parçaların ve yapılan birleştirmelerin çalışma ömrünü belirlemede kompozitlerin ve yapıştırıcıların mekanik özellikleri ve mekanik davranışları çok önemlidir. Bu yüzden, kompozitler için birleştirme ve tamir yöntemi önemlidir. Bunun dolayı, literatürde kompozit parçaların tek ve çift tesirli birleştirme yöntemi ile yapılan birçok çalışma

mevcuttur. Güçlü birleştirme etkisine sahip bağlantı yöntemleri kompozit parçalar için etkin öneme sahiptir.

Tek tesirli birleştirmelerde en düşük yapıştırıcı hasar gerilmesi üzerine Abdi ve arkadaşları [1] tarafından çalışmalar yapılmıştır. Buldukları değerleri gerçek gerilme değerleri ile karşılaştırmışlardır. Tek tesirli birleştirme üzerine yapılan başka bir çalışmada, yapıştırılarak birleştirilmiş bağlantının fonksiyonel olarak derecelendirilmiş yapıştırıcı etkisinin geliştirilmesidir[2,3]. Başka çalışmalarda, deneysel ve nümerik işlemler testler sonucu tek tesirli birleştirme yöntemi kullanılarak yapılan bağlantı işlemlerinin belirlenen yüklemeler altında malzemeler üzerinde oluşan gerilmeleri incelenmiştir [4,5]. Engerer ve Sancaktar [6] ise tek tesirli birleştirme işlemlerinde oluşan boşlukların etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında iki tür yapıştırıcı kullanmışlardır. Yaptıkları konik bağlantı geometrisinin yapışkan tabaka içinde oluşan soyma gerilmelerini azaltma kabiliyeti oluşturduklarını ifade etmişlerdir. Bu çalışmalara ilave olarak, farklı yüklemeler ve farklı testler altında kompozit-kompozit ve kompozit-çelik malzeme kombinasyonları kullanılarak tek tesirli bindirme yöntemi kullanılarak belirli parametreler ve onların etkileri konusunda çalışmalarda yapılmıştır [7-10].

Diğer taraftan, Fawzia ve diğerleri [11] polimer plaka takviyeli güçlendirilmiş düz çelik plakaların aksel yüklemeye altındaki davranışı incelemişlerdir. İki çelik plakayı farklı bağlama uzunluklarında çift tesirli bağlantılı kullanarak karbon fiber plaka ile yapıştırılarak birleştirmişlerdir. Numunelerin davranışları hasar yükü belirlenmesi için lineer olmayan sonlu elemanlar analizini kullanarak incelenmiştir. Ayrıca, çekme yükü altında güçlendirilmiş çift tesirli bağlantının nümerik ve deneysel analizlerle karakteristik davranışları araştırılmıştır [12]. Yapıştırıcı tabaka kalınlıkları, yapıştırıcı maksimum gerinim ve CFRP değişken bağlantı uzunluklu nümerik modeller ile parametrik bir çalışma yapılmıştır. Dahası da, çelik / CFRP yapıştırılarak birleştirilmiş çift tesirli birleştirmelerin yüksek sıcaklıklarda yapışkanın cam geçiş sıcaklığı çevresinde mekanik performansı incelenmiştir [13]. Akpınar [14] çekme yükü altındaki bindirme alanında farklı oryantasyon açılı kompozit yamaların ve alüminyumlu çift tesirli bağlantının mekanik özelliklerini incelemiştir. Altı farklı bağlantı numunesi gerilme yüklemesine tabi tutulmuştur. Yama malzemesinin hasar yükü ve gerilme dağılımına etkisi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Bir başka çalışmada, yapışkanla birleştirilen çift tesirli ve desteklenmiş tek kat cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) bağlatılarda bağlantı mukavemetlerini, soyma gerilmelerini ve hasar modlarını karakterize etmek için yapılan deneysel bir araştırma yapılmıştır [15].

Bu çalışmada, farklı oryantasyon açılara sahip kompozit parçalar ve yapıştırıcı kullanılmıştır. Farklı oryantasyon açılarındaki kompozit parçalar yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan modeller ANSYS 14.5 paket programında nümerik analizler için oluşturulmuştur. Çekme yükü altında gömülü çift tesirli yapıştırıcı tabaka ile birleştirilmiş kompozit parçalar lineer olmayan sonlu elemanlar metodu ile incelenmiş ve belirlenen parametrelerde üretilen modeller için hasar yükleri bulunmuştur. Bulunan hasar yüklerinde x,y ve z yönlerinde gerilmeler, kayma gerilmeleri ve von-Mises gerilmeleri elde edilmiştir. Yapıştırma yönteminin estetik boyutu ve sanayide kolay uygulanabilirliği ifade edilmiştir. Ayrıca, bu birleştirme yönteminin avantajları gösterilmiştir.

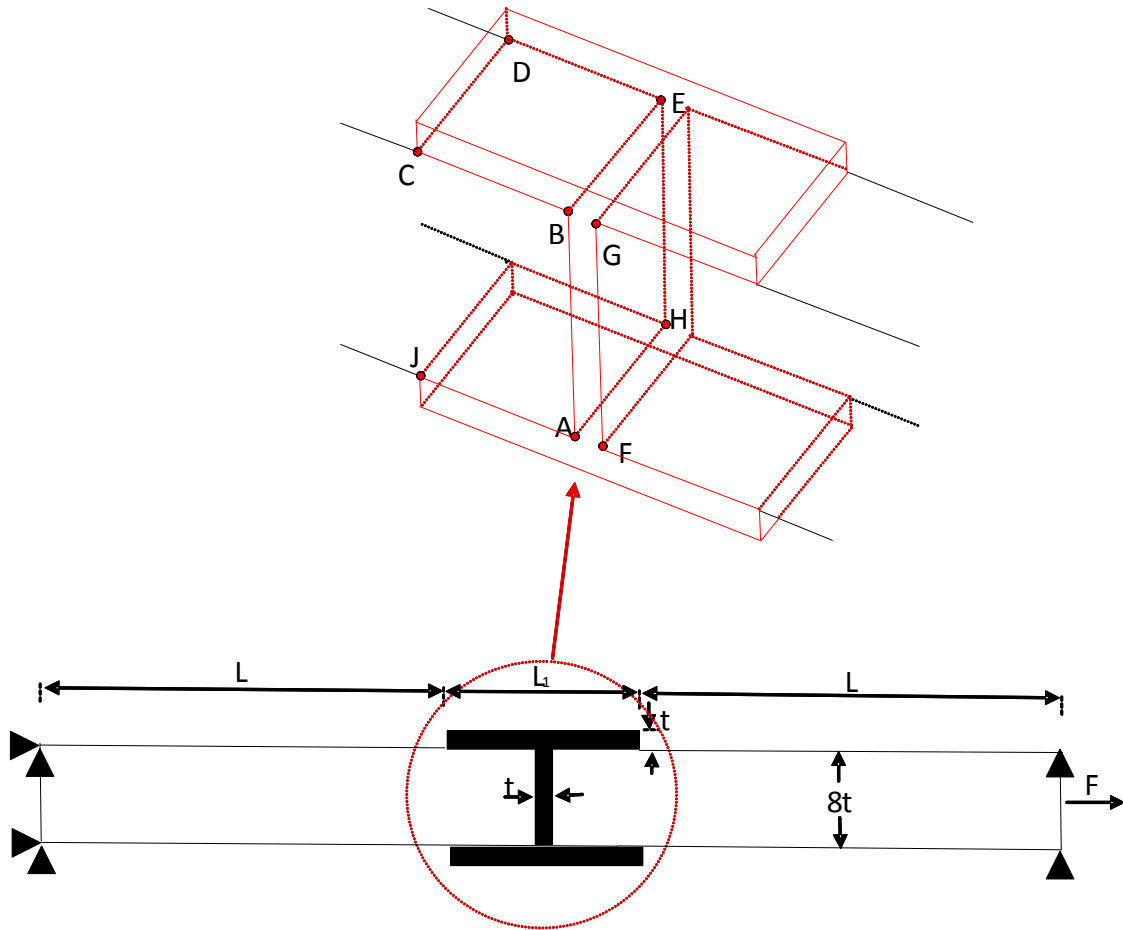
2. Materyal ve Metot

Çekme yüke altında çift tesirli yapıştırıcı tabaka ile birleştirilmiş kompozit parçaların modeli Şekil 1’ de gösterilmiştir. Sonlu elemanlar analizi için kompozit parçalar sekiz tabakadan oluşturulmuştur. Ayrıca yapıştırıcı olarak da DP 410 kullanılmıştır. Kompozit parçaların ve yapıştırıcının mekanik özellikleri Çizelge 1 ve Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3’de gösterilen oryantasyon açıları kullanılmıştır. Ayrıca Şekil 2’de yapıştırıcı için gerilme-gerinin eğrisi gösterilmiştir.

Karbon fiber takviyeli kompozit parçaların kalınlığı 8×0.2 mm ve her bir tabaka kalınlığı 0.2 mm’dir. Ayrıca yapıştırıcı tabaka kalınlığı 0.2 mm (t)’dir. Kompozit parçaların uzunluğu 62.5 mm (L), yama toplam uzunluğu 15mm, 20mm ve 25 mm (L_1)’dir.

Sonlu elemanlar çalışmasında, çekme yüküne maruz bırakılmış gömülü yama ile birleştirilmiş kompozit parçalar sonlu elemanlar metodu ile simüle edilmiştir. Üç boyutlu lineer olmayan sonlu elemanlar modeli ANSYS paket programında 20 nodlu izoparametrik dört köşeli eleman tipi olan Solid186 model elemanlarla modellenmiştir. Şekil 1’de görülen kompozit modelin bir ucu x , y ve z yönlerinde sabitlenmiş, diğer ucu ise sadece y yönünde sabitlenmiştir. Bağlantı görünümü, sınır koşulları ve mesh detayları Şekil 3’de gösterilmiştir. Çekme yüküne maruz bırakılmış yapıştırıcı tabaka ile birleştirilmiş kompozit parçaların gerilme analizleri yapılırken kompozit parçalar için Tsai-wu hasar kriteri, yapıştırıcı için ise von-Mises hasar kriteri dikkate alınmıştır [17-19].



Şekil 1. Çift tesirli yapıştırıcı tabaka ile yapıştırılarak birleştirilmiş kompozit parçalar

Çizelge 1. T 700 karbon/epoksi için malzeme özellikleri [16]

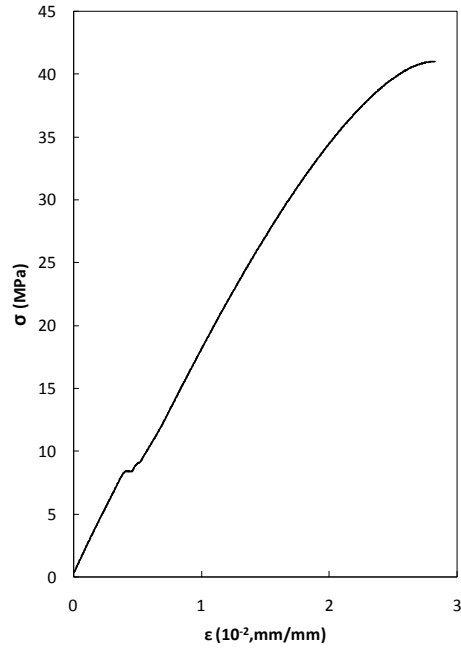
Özellikler	Karbon/epoksi (T 700)
E_x (MPa)	132000
E_y (MPa)	10300
E_z (MPa)	10300
G_{xy} (MPa)	6500
G_{yz} (MPa)	3910
G_{xz} (MPa)	6500
ν_{xy}	0.25
ν_{yz}	0.38
ν_{xz}	0.25
X_T (MPa)	2100
Y_T (MPa)	24
Z_T (MPa)	24
X_C (MPa)	1050
Y_C (MPa)	132
Z_C (MPa)	132
S_{xy} (MPa)	75
S_{yz} (MPa)	75
S_{xz} (MPa)	75

Çizelge 2. DP 410 yapıştırıcı için malzeme özellikleri[17-19]

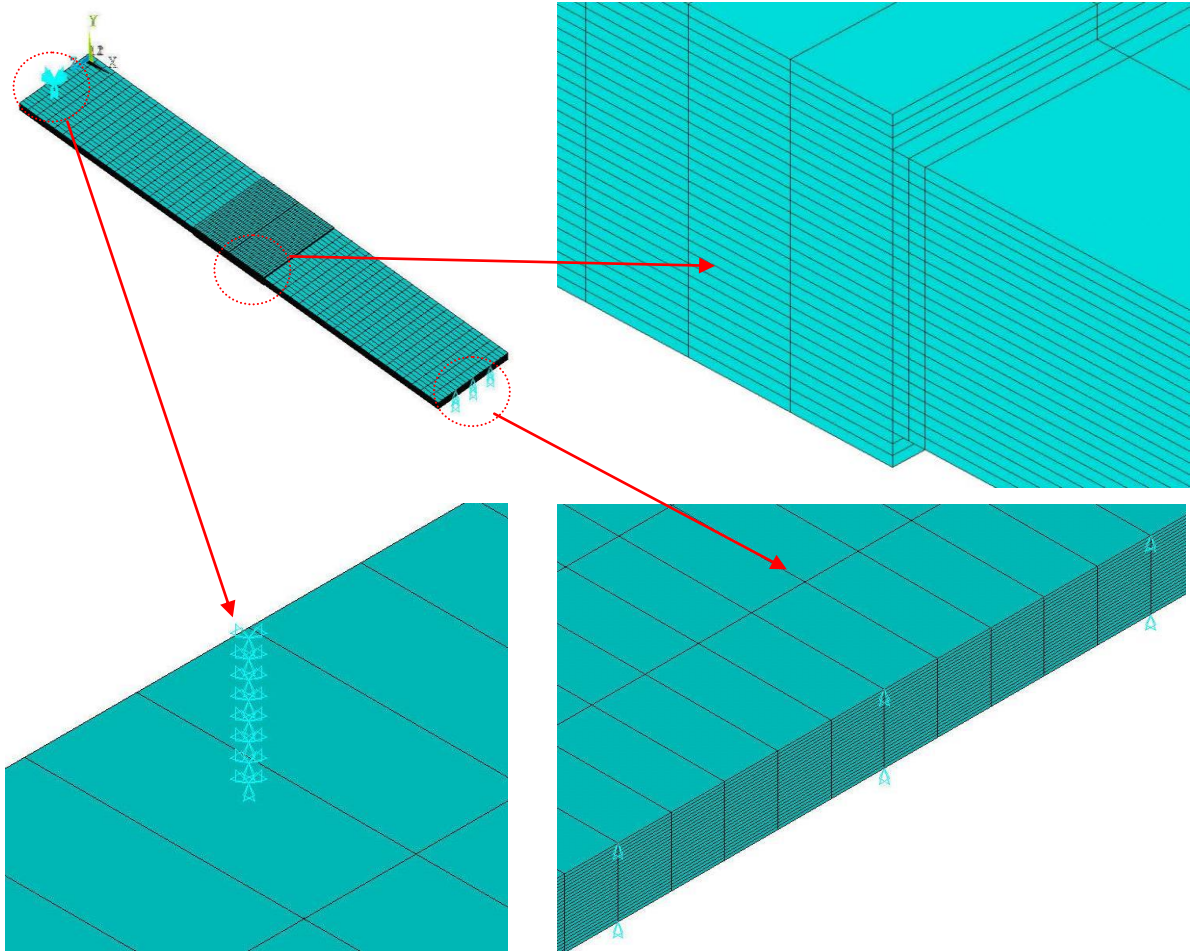
	DP 410 Yapıştırıcı
Elastik modül E_a (MPa)	2567.45
Poisson oranı ν_e	0.31
Akma mukavemeti σ_{ψ} (MPa)	38
Maksimum çekme mukavemeti σ_t (MPa)	40.79
Maksimum çekme gerinimi ε_t (mm·mm ⁻¹)	0.027

Çizelge 3. Çalışmalarda kullanılan oryantasyon açıları

Orientation angles(⁰)
0/0/0/0/0/0/0
15/-15/15/-15/-15/15/-15/15
30/-30/30/-30/-30/30/-30/30
45/-45/45/-45/-45/45/-45/45
60/-60/60/-60/-60/60/-60/60
75/-75/75/-75/-75/75/-75/75
90/90/90/90/90/90/90



Şekil 2. DP 410 yapıştırıcı için gerilme-gerinim eğrisi [17-19]

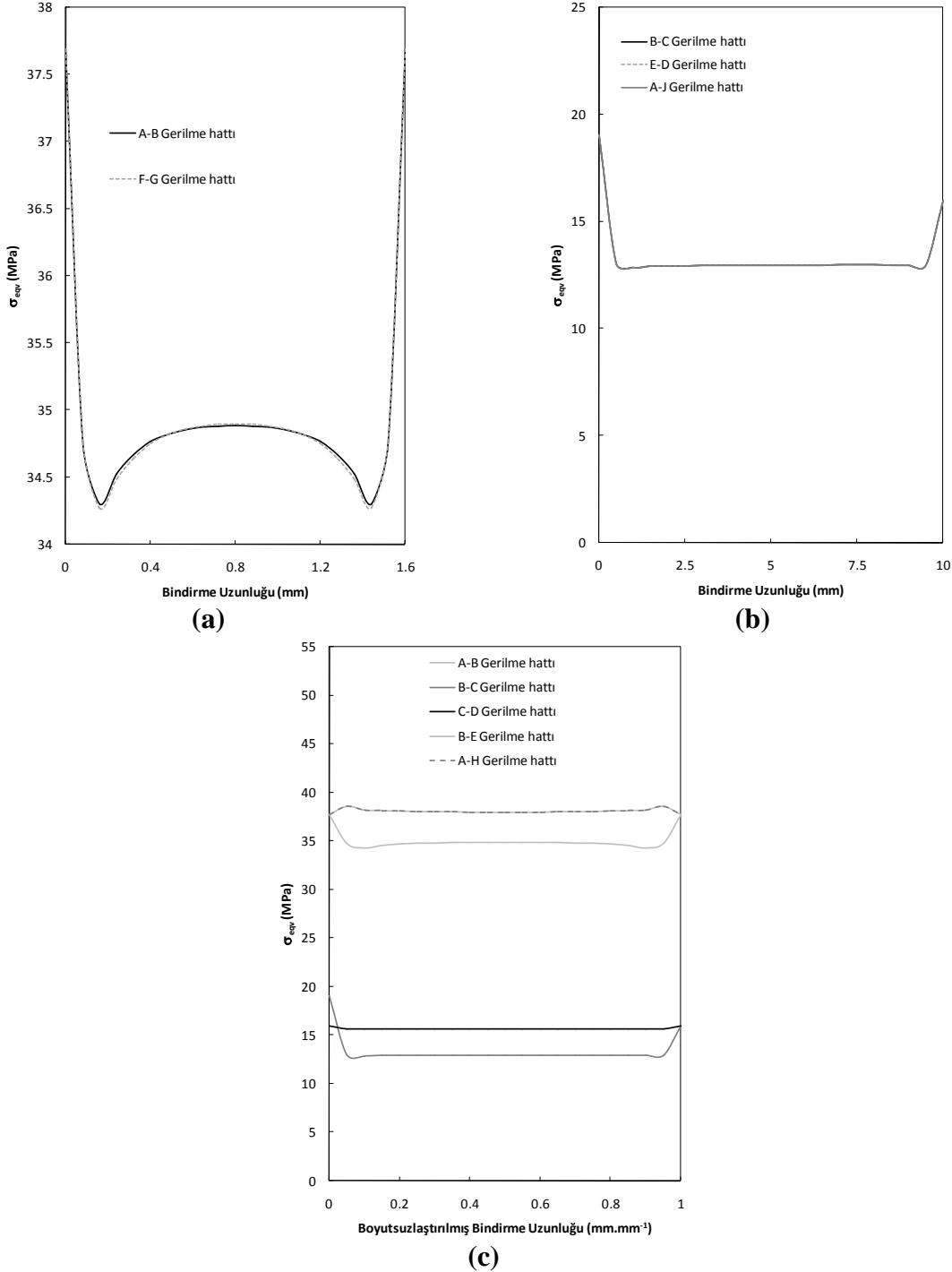


Şekil 3. Mesh detayları ve sınır şartları

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Oryantasyon Açılarının ve Yapıştırıcı Tabaka Uzunluğunun Gerilme Dağılımı Üzerine Etkisi

Çekme yüküne maruz yapıştırıcı tabaka ile birleştirilmiş kompozit parçaların gerilme dağılımları karşılaştırılmıştır. Çizelge 3’ de gösterilen oryantasyon açıları kullanılmıştır. Şekil 1’ de görüldüğü gibi bağlantı bölgesinde birçok gerilme hattı bulunmaktadır. Bu gerilme hatlarında bazıları birbirine yakın, hatta aynı gerilme dağılımlarına sahip gerilme hatları mevcuttur.



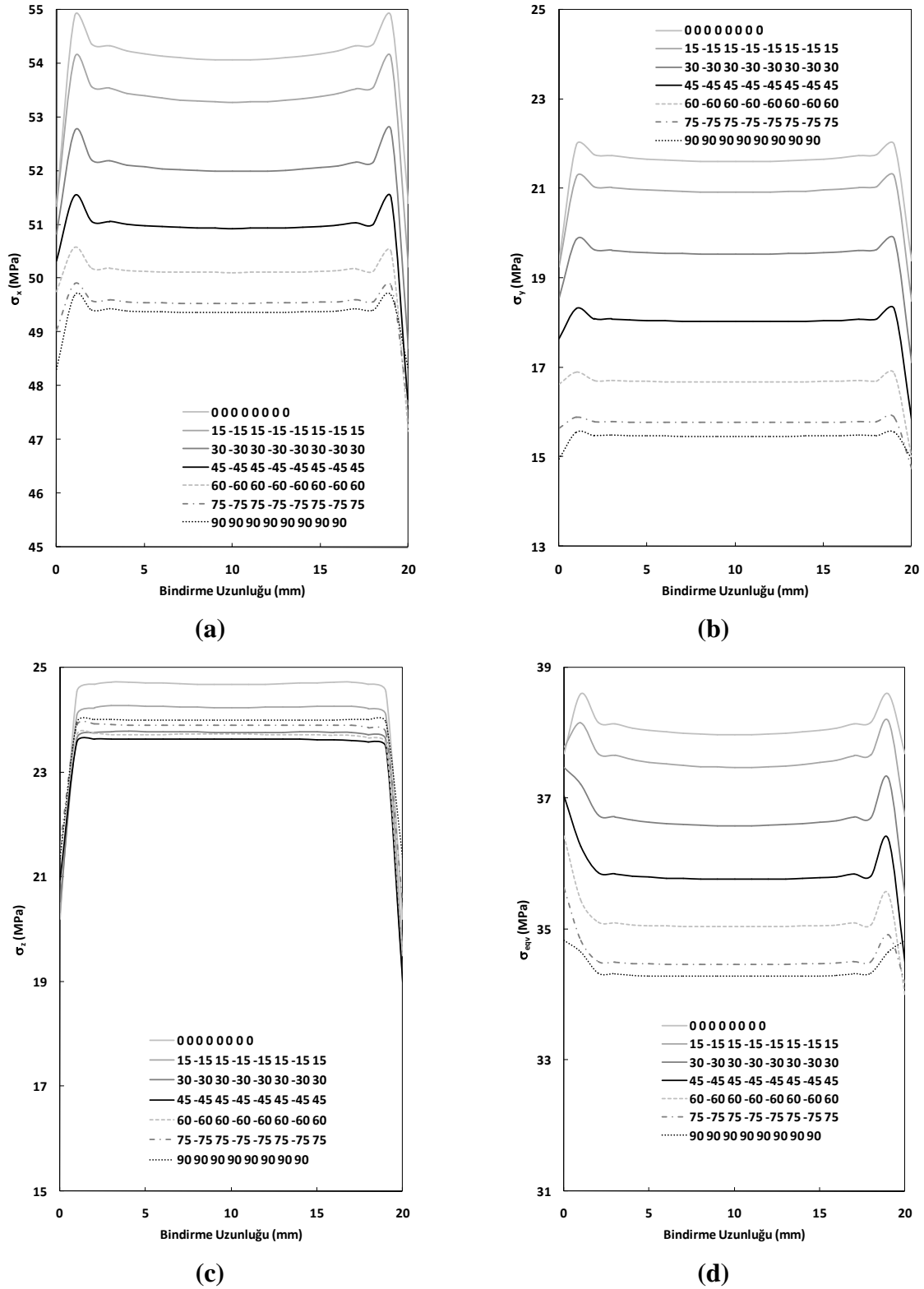
Şekil 4. Farklı gerilme boyunca von-Mises gerilmeleri (Şekil 1’de gösterilen: 20 mm yama boyunda ve $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ için yapıştırıcı bölgesinde karşılaştırma

Şekil 4’de görüldüğü gibi, bazı gerilme hatlarındaki gerilmelerin çok yakın olduğu, bazı gerilme hatlarının da simetrik olduğu için aynı gerilme değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Şekil 4(c) ‘de görüldüğü üzere, A-B, B-C, C-D, B-E ve A-H gerilme hatlarının birbirinden farklı gerilme dağılımlarına sahiptir. Bundan dolayı, bu gerilme hatları karşılaştırılmış ve maksimum gerilmenin A-H Gerilme hattı üzerinde olduğu tespit edilmiştir ve her bir parametre durumu için A-H Gerilme hattı üzerindeki gerilmeler incelenmiştir.

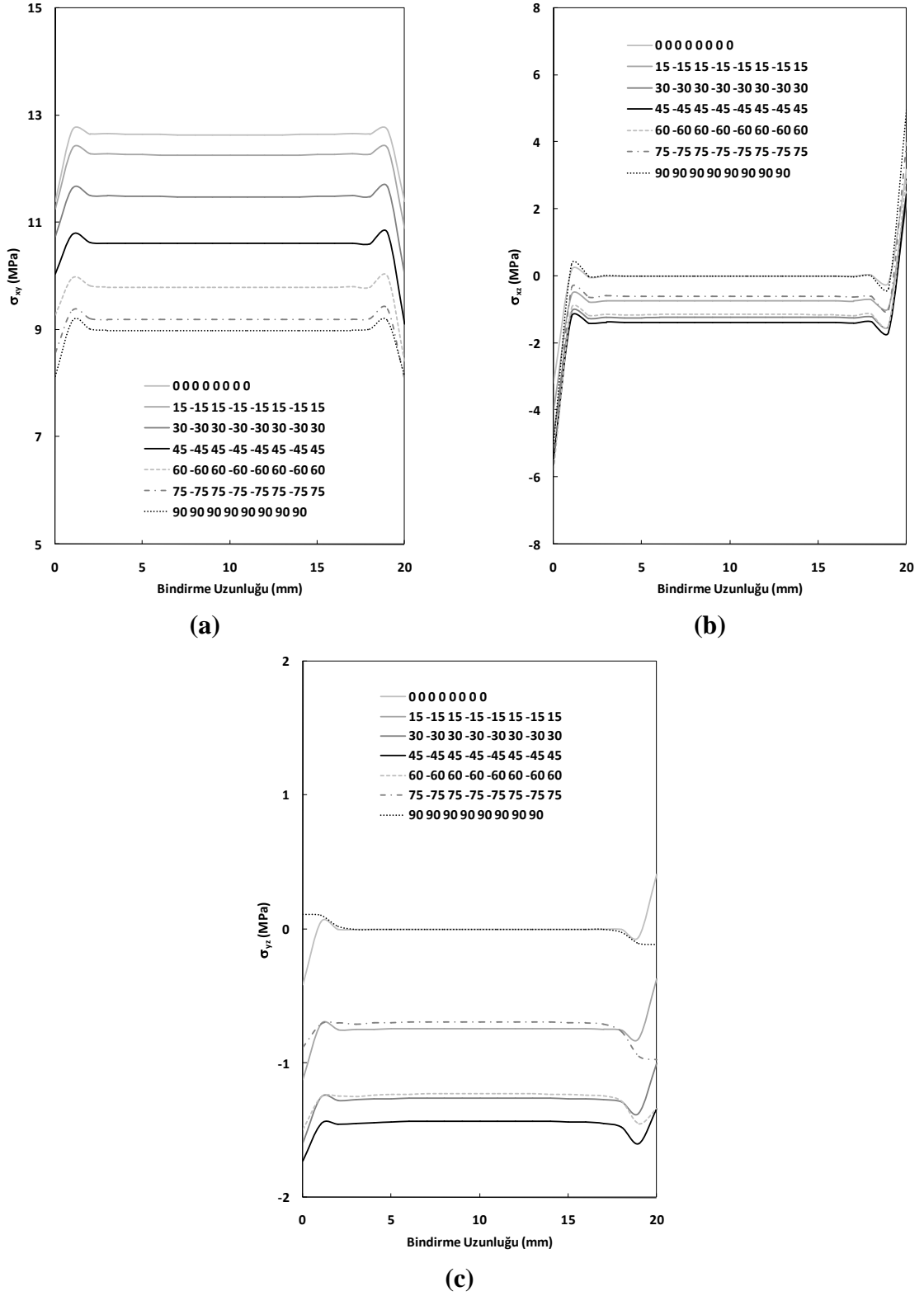
20 mm yama uzunluğu dikkate alınarak oryantasyon açılarının gerilme dağılımları üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Her bir gerilme durumunda hangi oryantasyon açısının daha etkili olduğu Şekil 5 ve Şekil 6’da görülmektedir. σ_x , σ_y ve σ_z gerilmelerinde maksimum gerilmenin elde edildiği $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ oryantasyon açısına sahip kompozit parçaların birleştirilmesinde meydana geldiği görülmektedir. Şekil 5 (d) incelendiğinde, σ_{eqv} gerilme dağılımının $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ oryantasyon açısında maksimum olduğu gösterilmiştir. Şekil 6’da kayma gerilmeleri incelendiğinde, σ_{xy} gerilmesi $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ oryantasyon açısında maksimum değerlere ulaştığı görülmektedir. σ_{xz} ve σ_{yz} incelendiğinde, maksimum değişimin $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ ve $90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0$ oryantasyon açılarında meydana geldiği görülmektedir.

Genel olarak Şekil 5 ve 6’ya bakıldığında oryantasyon açılarının gerilme dağılımlarına etkisinin olduğu görülmektedir. Ayrıca oryantasyon açılarının her bir gerilme üzerinde etkilerinin farklı olduğunun, bazı gerilmelerde de oryantasyon açılarının etkilerinin yakın olmasına rağmen farklılıkların olduğu Şekil 5 ve Şekil 6’da gösterilmiştir. Bunlara ilaveten, gerilme dağılımlarında çoğu gerilmelerde $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ oryantasyon açısının etkili bir parametre olduğu görülmektedir. $90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0$ oryantasyon açılarının da genel etkilerinin kayma gerilmeleri üzerinde olduğunu söyleyebiliriz. Diğer açılarda etkileri, $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ ve $90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0$ oryantasyon açılarında farklı oldukları gösterilmiştir.

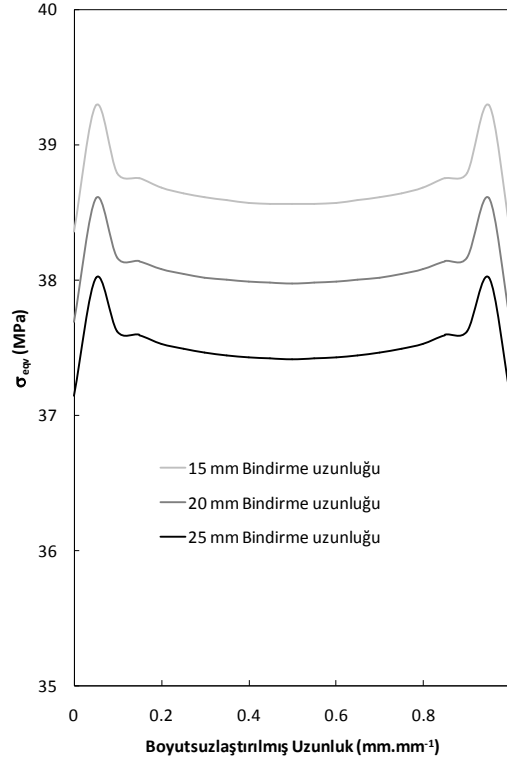
Şekil 7 incelendiğinde, $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ oryantasyon açısında üç farklı yama uzunluklarında yapıştırıcı üzerinde A-H Gerilme hattı boyunca oluşan von-Mises gerilmeleri karşılaştırılmıştır. Maksimum gerilmenin 15 mm bindirme uzunluğunda medya geldiği görülmektedir. Bu durumda, yama uzunluğunun da gerilme dağılımlarına etkisinin büyük oranda olduğu söylenebilir.



Şekil 5. 20 mm yama uzunluğunda yapıştırıcı tabaka üzerindeki A-H Gerilme hattı boyunca tüm oryantasyon açıları için gerilme dağılımlarının karşılaştırılması, a) σ_x , b) σ_y , c) σ_z , d) σ_{eqv}



Şekil 6. 20 mm yama uzunluğunda yapıştırıcı tabaka üzerindeki A-H Gerilme hattı boyunca tüm oryantasyon açıları için kayma gerilme dağılımlarının karşılaştırılması, a) σ_{xy} , b) σ_{xz} , c) σ_{yz}



Şekil 7. $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ için A-H Gerilme hattı boyunca farklı yama boylarında von-Mises gerilme dağılımlarının karşılaştırılması (Şekil 1’de gösterilmiştir)

3.2. Oryantasyon Açılarının ve Yapıştırıcı Tabaka Uzunluğunun Hasar Yükü Üzerine Etkisi

Çekme yükü altında gömülü çift tesirli yapıştırıcı tabaka ile birleştirilmiş kompozit parçaların hasar yükleri Çizelge 4’de gösterilmiştir. Yapıştırıcının gerilme-gerinim eğrisi de Şekil 2’de gösterilmiştir. Ayrıca, hasar yükünü belirlenmesi için Çizelge 2’de yapıştırıcının maksimum çekme mukavemeti ve maksimum çekme gerinim değerleri verilmiştir. Yapıştırıcı için von-Mises hasar kriteri, kompozit için Tsai-wu hasar kriterleri dikkate alınmıştır. Tüm hasarların kompozit parçalar üzerinde meydana gelmiştir. Bulunan hasar yüklerinde von-Mises hasar kriterinin kullanımıyla hesaplanan σ_{eqv} ve ϵ_{eqv} değerleri vasıtasıyla hasar yükleri analizler sonucu elde edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi çözümlerinde, malzemenin lineer olmayan bir davranış sergilemiştir ve uygulanan yükün ise belirli aralıklarla artırılarak hasar yükleri belirlenmiştir. Bu artışlar tüm modeller üzerinde birim alana 0.5 N/mm^2 yük artışları şeklinde uygulanmıştır. Kalan yük son adımda uygulanarak hasar yükleri belirlenmiştir [17-19].

Tüm gerilmeler ve von-Mises gerilmeleri nümerik olarak elde edilmiş çekme hasar yükü değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 4’de görüldüğü gibi, kompozit parçalarla

yapıştırıcı ara yüzeyleri arasındaki gerilme hatlarında A-H Gerilme hattının maksimum değerde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4. DP 410 kullanıldığında nümerik analiz sonuçları

Numune Numarası	Bindirme Uzunluğu (mm)	Oryantasyon Açısı ($^{\circ}$)	Hasar Yüğü (N)
1	15	0 0 0 0 0 0 0 0	14208.0
2		15 -15 15 -15 -15 15 -15 15	14208.0
3		30 -30 30 -30 -30 30 -30 30	14208.0
4		45 -45 45 -45 -45 45 -45 45	14208.0
5		60 -60 60 -60 -60 60 -60 60	14208.0
6		75 -75 75 -75 -75 75 -75 75	14208.0
7		90 90 90 90 90 90 90 90	14208.0
8	20	0 0 0 0 0 0 0 0	18304.0
9		15 -15 15 -15 -15 15 -15 15	18304.0
10		30 -30 30 -30 -30 30 -30 30	18304.0
11		45 -45 45 -45 -45 45 -45 45	18304.0
12		60 -60 60 -60 -60 60 -60 60	18304.0
13		75 -75 75 -75 -75 75 -75 75	18304.0
14		90 90 90 90 90 90 90 90	18304.0
15	25	0 0 0 0 0 0 0 0	22240.0
16		15 -15 15 -15 -15 15 -15 15	22240.0
17		30 -30 30 -30 -30 30 -30 30	22080.0
18		45 -45 45 -45 -45 45 -45 45	22080.0
19		60 -60 60 -60 -60 60 -60 60	22080.0
20		75 -75 75 -75 -75 75 -75 75	22080.0
21		90 90 90 90 90 90 90 90	22080.0

Çizelge 4 incelendiğinde, yama boyunun hasar yükleri üzerindeki etkileri görülmektedir. 25 mm yama uzunluğunda maksimum hasar yüklerinin elde edilmiştir. Sadece yama boylarının değişimi hasar yükü üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak tüm oryantasyon açılarının hasar yükü üzerine etkileri aynı olmasına rağmen, 25 mm yama uzunluğunda maksimum hasar yüklerin elde edilmiştir. Oryantasyon açılarının etkisi sadece 25 mm yama uzunluğunda $0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$ ve $15^{\circ}/-15^{\circ}/15^{\circ}/-15^{\circ}/15^{\circ}/-15^{\circ}/15^{\circ}$ oryantasyon açılarında oluşmuştur. Her bir yama uzunluğunda, farklı oryantasyon açılarında

aynı hasar yükü elde edilmesinin sebebi yapıştırıcı bindirme uzunluğunun en üst tabakalara doğrudan etkimesi olduğu düşünülmektedir. Yapıştırıcı tabaka herhangi bir yama ile desteklenmediğinden kompozit malzemeden farklı bir davranış sergilemektedir. Bu sebepten hasarlar kompozit bölgesinde meydana gelmiştir.

4.SONUÇLAR

Bu çalışmada, çekme yüküne maruz bırakılmış yapıştırıcı tabaka ile yapıştırılarak birleştirilmiş kompozit parçaların hasar yükleri ve gerilme analizleri incelenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Şekil 4’de görüldüğü gibi, A-H maksimum gerilme hattı olduğu belirlendi.
- σ_x , σ_y ve σ_z gerilmelerinde maksimum gerilmenin elde edildiği $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ oryantasyon açısına sahip kompozit parçaların birleştirilmesinde meydana geldiği görülmektedir.
- σ_{eqv} gerilme dağılımının $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ oryantasyon açısında maksimum olduğu belirlenmiştir.
- σ_{xy} gerilmesi $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ oryantasyon açısında maksimum değerlere ulaştığı görülmektedir.
- σ_{xz} ve σ_{yz} incelendiğinde, maksimum değişimin $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$ ve $90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0/90^0$ oryantasyon açılarında meydana geldiği görülmektedir.
- Maksimum von-Mises gerilme dağılımının 15 mm bindirme uzunluğunda elde edildiği Şekil 7’de gösterilmiştir.
- Yapıştırıcı tabaka ile birleştirme yönteminde bindirme uzunluğu değişikçe hasar yükünde değiştiği tespit edildi ve maksimum hasar yüklerinin 25 mm yama uzunluğunda elde edildiği Çizelge 4’ de gösterilmiştir.
- Tüm modellerde genel olarak hasar kompozit bölgesinde oluşmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Abdi H., Papadopoulos J., Nayeb-Hashemi H., Vaziri A., “Enhanced elastic-foundation analysis of balanced single lap adhesive joints”, International Journal of Adhesion & Adhesives, 72: 80–91, (2017).
- [2] Stein N., Mardani H., Becker W., “An efficient analysis model for functionally graded adhesive single lap joints”, International Journal of Adhesion & Adhesives, 70: 117–125, (2016).

- [3] Guin W. E., Wang J., “Theoretical model of adhesively bonded single lap joints with functionally graded adherents”, *Engineering Structures*, 124: 316–332, (2016).
- [4] Moya-Sanz E. M., Ivañez I., Garcia-Castillo S. K., “Effect of the geometry in the strength of single-lap adhesive joints of composite laminates under uniaxial tensile load”, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 72: 23–29, (2017).
- [5] Ribeiro T. E. A., Campilho R. D. S. G., da Silva L. F. M., Goglio L., “Damage analysis of composite–aluminium adhesively-bonded single-lap joints”, *Composite Structures*, 136: 25–33, (2016).
- [6] Engerer J. D., Sancaktar E., “The effects of partial bonding in load carrying capacity of single lap joints”, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 31: 373–379, (2011).
- [7] Tang J. H., Sridhar I., Srikanth N., “Static and fatigue failure analysis of adhesively bonded thick composite single lap joints”, *Composites Science and Technology*, 86: 18–25, (2013).
- [8] Kim K. S., Yi Y. M., Cho G. R., Kim C. G., “Failure prediction and strength improvement of uni-directional composite single lap bonded joints”, *Composite Structures*, 82: 513–520, (2008).
- [9] Katnam K. B., Comer A. J., Stanley W. F., Buggy M., Ellingboe A. R., Young T. M., “Characterising prepreg and non-crimp-fabric composite single lap bonded joints”, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 31: 679–686, (2011).
- [10] Khalili S. M. R., Jafarkarimi M. H., Abdollahi M. A., “Creep analysis of fibre reinforced adhesives in single lap joints—Experimental study”, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 29: 656–661, (2009).
- [11] Fawzia Sabrina, Al-Mahaidi Riadh, Zhao Xiao-Ling, “Experimental and finite element analysis of a double strap joint between steel plates and normal modulus CFRP”, *Composite Structures*, 75: 156–162, (2006).
- [12] Fawzia Sabrina, Zhao Xiao-Ling, Al-Mahaidi Riadh, “Bond–slip models for double strap joints strengthened by CFRP”, *Composite Structures*, 92: 2137–2145, (2010).
- [13] Nguyen Tien-Cuong, Bai Yu, Zhao Xiao-Ling, Al-Mahaidi Riadh, “Mechanical characterization of steel/CFRP double strap joints at elevated temperatures”, *Composite Structures*, 93: 1604–1612, (2011).
- [14] Akpınar Salih, “Effects of laminate carbon/epoxy composite patches on the strength of double-strap adhesive joints: Experimental and numerical analysis”, *Materials and Design*, 51: 501–512, (2013).
- [15] Lee H.K., Pyo S.H., Kim B.R., “On joint strengths, peel stresses and failure modes in adhesively bonded double-strap and supported single-lap GFRP joints”, *Composite Structures*, 87: 44–54, (2009).
- [16] Wang B., Xiong J., Wang X., Ma L., Zhang G.Q., Wu L.Z., Feng J.C., “Energy absorption efficiency of carbon fiber reinforced polymer laminates under high velocity impact”, *Materials and Design*, 50:140–148, (2013).
- [17] Sülü İsmail Yasin, “Mechanical behavior of internal pressurized composite pipes jointed with embedded tubular sleeves”, *Materials Testing*, 59: No. 3, 272-277, (2017).

- [18] Sülü İ.Y., Temiz Ş., Aydın M.D., “Layer effects of multi-layered face to face adhesively bonded composite pipes subjected to internal pressure”, Academic Journal of Science, 04: No. 3, pp.195 – 202, (2015).
- [19] Sülü İsmail Yasin, “Mechanical testing and analysis of composite parts adhesively joined under tensile load”, Materials Testing, 59: 5, pp. 459-465, (2017).